

复合保鲜剂对鲜切天麻贮藏品质的影响

曹森¹, 赵成飞², 崔世江¹, 陈文静¹, 黄元彬¹, 罗冬兰¹

(1. 贵阳学院, 贵阳 550005; 2. 景德镇市农牧渔业科学研究所, 江西 景德镇 333000)

摘要: **目的** 通过探究复合保鲜剂对鲜切天麻保鲜效果的影响, 为鲜切天麻采后保鲜提供参考依据。

方法 以鲜切天麻为实验材料, 采用四因素三水平正交实验考察茶多酚、柠檬酸、抗坏血酸、壳聚糖复配

对鲜切天麻感官评价的影响, 以鲜切天麻感官评价为控制指标, 筛选出适宜鲜切天麻的复合保鲜剂配

方。**结果** 复合保鲜剂的最佳配方为茶多酚质量分数 1.25%, 柠檬酸质量分数 0.50%, 抗坏血酸质量分数

0.20%, 壳聚糖质量分数 0.90%。与采用清水处理相比较, 该复合保鲜剂在 4 °C 下贮藏 15 d, 能有效维

持鲜切天麻的硬度和色差 L^* 值, 延缓其天麻素和多糖含量的下降, 保持鲜切天麻 PPO 活性和 POD 活性。

结论 复合保鲜剂能有效地保持鲜切天麻的商品价值, 可用于鲜切天麻采后保鲜。

关键词: 天麻; 鲜切; 复合保鲜剂; 贮藏品质

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)01-0031-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.005

Effects of Compound Preservatives on Storage Quality of Fresh-cut *Gastrodia elata*

CAO Sen¹, ZHAO Cheng-fei², CUI Shi-jiang¹, CHEN Wen-jing¹, HUANG Yuan-bin¹, LUO Dong-lan¹

(1. Guiyang University, Guiyang 550005, China;

2. Jingdezhen Institute of Agriculture, Animal Husbandry and Fishery Science, Jingdezhen 333000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of compound preservatives on the preservation effect of fresh-cut *Gastrodia elata*, in order to provide reference for its postharvest preservation. With fresh-cut *Gastrodia elata* as the experimental material, L_9 (3^4) orthogonal experiments were used to investigate the effects of tea polyphenol, citric acid, ascorbic acid and chitosan on the sensory evaluation of fresh-cut *Gastrodia elata*. With the sensory evaluation of fresh-cut *Gastrodia elata* as the control indicator, the formula of compound preservatives suitable for fresh-cut *Gastrodia elata* was screened. The optimal formula of compound preservatives was 1.25% (mass fraction) tea polyphenols, 0.50% (mass fraction) citric acid, 0.20% (mass fraction) ascorbic acid and 0.90% (mass fraction) chitosan. Compared with the fresh water treatment, the compound preservatives stored at 4 °C for 15 days could effectively maintain the hardness and chromatic aberration L^* value of fresh-cut *Gastrodia elata*, delay the decline of gastrodin and polysaccharide content, and maintain the PPO activity and POD activity of fresh-cut *Gastrodia elata*. The compound preservatives can keep the commodity value of fresh-cut *Gastrodia elata*, which can be used for the postharvest preservation of fresh-cut *Gastrodia elata*.

KEY WORDS: *Gastrodia elata*; fresh-cut; compound preservatives; storage quality

天麻 (*Gastrodia elata*) 别名为独摇芝、明天麻、神草等, 为兰科天麻属寄生草本植物, 属于我国名贵

中药材^[1-2]。由于天麻富含天麻素、氨基酸、多糖类等功能性成分, 因此天麻具有较高的药用价值^[3-4]。

收稿日期: 2019-05-13

基金项目: 贵阳市财政支持贵阳学院学科与硕士点建设项目 (SH-2019)。

作者简介: 曹森 (1988—), 男, 硕士, 贵阳学院副教授, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。

通信作者: 罗冬兰 (1988—), 女, 硕士, 贵阳学院讲师, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。

2018年1月11日,国家卫计委发布了《国家卫生计生委食品司关于就党参等9种物质作为按照传统既是食品又是中药材物质开展试生产征求意见的函》,同意将天麻作为食药物质在云南和贵州进行生产,标志着天麻产业升级迈出了坚实的一步。天麻在鲜切贮藏过程中易变质,从而会影响鲜切天麻的商品率^[5],因此探究鲜切天麻的贮藏保鲜技术,对促进天麻产业的发展具有非常重要的意义。目前,国内外未见对鲜切天麻的贮藏保鲜相关研究报道。通过分析,关于鲜切产品的复合保鲜剂,茶多酚、柠檬酸、抗坏血酸和壳聚糖均在相关鲜切产品方面有研究报道^[6-7],说明这4种保鲜剂对鲜切产品的贮藏保鲜均具有一定的保鲜效果,此方法具有可行性。

目前,关于鲜切天麻的贮藏保鲜技术还未见相关研究报道。文中采用正交实验优化天麻复合保鲜剂的配方,拟为鲜切天麻的加工及贮藏保鲜提供新思路。

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:天麻(乌天麻),采挖于贵州省乌蒙菌业有限公司基地;壳聚糖(脱乙酰度>90%),潍坊科海甲壳素有限公司;天麻素对照品(批号20161217),购于上海金穗生物科技有限公司,纯度均>98.0%。其他试剂均为分析纯。

仪器:TA.XT.Plus质构仪(英国SMS公司)、UV-2550紫外分光光度计(日本Shimadzu公司)、TGL-16A台式高速冷冻离心机(长沙平凡仪器仪表有限公司)、LC-15C型高效液相色谱仪(日本岛津公司)、AUW120D型电子分析天平(日本岛津公司)、CR400-色差仪(日本柯尼卡美能达)、ZORBAX Eclipse XDB-C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm)色谱柱。

1.2 方法

1.2.1 单因素实验

选取4种保鲜剂(茶多酚质量分数为0.25%,0.5%,0.75%,1.0%,柠檬酸质量分数为0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,抗坏血酸质量分数为0.2%,0.4%,0.6%,0.8%,壳聚糖质量分数为0.5%,1.0%,1.5%,2.0%)分别对鲜切天麻进行单一贮藏实验。首先,将新鲜天麻清洗沥干后,选择无病虫害、无机械损伤的鲜天麻,将其切成厚度为0.5 cm的薄片,然后分别用不同浓度的4种(茶多酚、柠檬酸、抗坏血酸及壳聚糖)单一溶液浸泡鲜切天麻10 min,接着捞出鲜天麻薄片后自然沥干,设置清水处理为对照组。待天麻片自然沥干后立刻包装(保鲜膜+塑料盒)好放在保鲜柜进行贮藏,贮藏温度为(4±0.5)℃、相对湿度为(90±5)%,贮藏15 d后测定天麻的质量损失率和腐烂率。

质量损失率的测定:质量损失率=(m_1-m_2)/ m_1 ×100%,式中: m_1 为贮藏前天麻的质量; m_2 为贮藏后天麻的质量。

腐烂率的测定:腐烂率=天麻腐烂片数/天麻总片数×100%,其中当鲜切天麻片组织呈黑褐色,发生霉变,并伴有刺激性气味时均为腐烂天麻片。

1.2.2 鲜切天麻复合保鲜剂的配方优化

鲜切天麻复合保鲜剂前期处理方法和贮藏方法同1.2.1单因素实验报道的方法。根据对感官评价,选择4个因素(茶多酚、柠檬酸、抗坏血酸及壳聚糖),采用 $L_9(3^4)$ 进行正交实验设计^[8],以感官评价为目标函数,因素水平见表1。请10名评判员对不同组合保鲜剂处理的鲜切天麻进行感官评价,感官评价指标见表2^[9]。

表1 $L_9(3^4)$ 因素水平

Tab.1 $L_9(3^4)$ factor levels

水平	因素(质量分数)			
	A 茶多酚/%	B 柠檬酸/%	C 抗坏血酸/%	D 壳聚糖/%
1	1.00	0.25	0.10	0.70
2	1.25	0.50	0.20	0.80
3	1.50	0.75	0.30	0.90

表2 感官评定标准

Tab.2 Sensory evaluation criteria

等级分数	评分标准
一等(91~100)	无褐变,无腐烂,有光泽,质地良好
二等(81~90)	颜色不均匀,无腐烂,质地稍有软化
三等(71~80)	轻微褐变和腐烂,质地变软
四等(61~70)	褐变及腐烂较为严重,质地软化
五等(<60)	严重褐变和腐烂,呈黑褐色,组织软化

1.2.3 最佳复合保鲜剂保鲜作用的研究

通过采用正交实验优化的最佳复合保鲜剂浸泡鲜切天麻10 min,并用清水处理作为对照组,捞出后自然沥干,接着包装(保鲜膜+塑料盒)好后贮藏于(4±0.5)℃、相对湿度为(90±5)%环境中。在贮藏0,3,6,9,12,15 d分别测定其硬度、色差、天麻素含量、多糖含量、多酚氧化酶活性(PPO)、过氧化物酶(POD)等指标。

1.2.4 测定方法

采用质构仪对天麻进行硬度的测定,利用P/2柱头($\varnothing 2$ mm)对天麻进行穿刺测试。采用色差仪对鲜切天麻进行测定, L^* 值越大则天麻色泽越亮; L^* 值越小则天麻色泽越暗。天麻素含量参照闫宝庆等^[10]的方法,采用HPLC方法测定天麻中天麻素的含量,并作一定的改动。采用苯酚-硫酸法来测定天

麻中的多糖含量^[11]。多酚氧化酶活性（PPO）、过氧化物酶（POD）的测定方法均参照曹建康^[12]报道的方法进行。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS 22.0 软件的进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 4 种保鲜剂的单因素实验

由表 3 可知，鲜切天麻在贮藏 15 d 后，与清水对照组相比较，采用 4 种单一的保鲜剂处理鲜切天麻后质量损失率和腐烂率均有更好的效果。其中，质量分数为 1.0%和 1.25%的茶多酚处理优于其他浓度，说明茶多酚浓度越高，鲜切天麻的质量损失率和腐烂率也越低；质量分数为 0.5%和 1.0%的柠檬酸处理优于其他浓度，说明柠檬酸浓度越低，鲜切天麻的质量损失率和腐烂率也越低；质量分数为 0.2%和 0.4%的抗坏血酸处理优于其他浓度，说明抗坏血酸浓度越低，鲜切天麻的质量损失率和腐烂率也越低；质量分数为 0.6%和 0.8%的壳聚糖处理优于其他浓度，说明壳聚糖浓度越高，鲜切天麻的质量损失率和腐烂率也越

表 3 4 种保鲜剂对鲜切天麻质量损失率和腐烂率的影响
Tab.3 Effect of four preservatives on weight loss rate and decay rate of fresh-cut *Gastrodia elata*

保鲜剂		质量损失率/%	腐烂率/%
茶多酚质量分数/%	0.5	8.6	29.3
	0.75	8.1	27.2
	1.0	7.7	23.7
	1.25	7.6	22.8
柠檬酸茶多酚质量分数/%	0.5	8.1	36.2
	1.0	8.2	38.2
	1.5	8.7	42.4
	2.0	9.4	43.1
抗坏血酸茶多酚质量分数/%	0.2	7.8	25.5
	0.4	8	26.8
	0.6	8.3	28.6
	0.8	8.4	31.4
壳聚糖茶多酚质量分数/%	0.2	7.9	23.6
	0.4	6	22.5
	0.6	5.5	19.8
	0.8	5.3	18.2
清水	对照	9.8	59.5

低。由此可见，茶多酚和壳聚糖的浓度较高，柠檬酸和抗坏血酸的浓度较低时，能够更好地降低鲜切天麻的质量损失率和腐烂率。这里采用较高浓度的茶多酚和壳聚糖，并且采用较低浓度的柠檬酸和抗坏血酸来进行正交实验，以探究鲜切天麻复合保鲜剂的最佳配方。

2.2 鲜切天麻复合保鲜剂的优化

L₉ (3⁴) 的正交实验结果见表 4。通过表 4 可以看出，鲜切天麻在贮藏期 15 d 时，4 个因素对鲜切天麻的感官评价影响的主次顺序为：茶多酚（A）> 壳聚糖（D）> 抗坏血酸（C）> 柠檬酸（B）。通过极差分析得出，实验的最佳配方为 A2B2C2D3，即茶多酚质量分数为 1.25%，柠檬酸质量分数为 0.50%，抗坏血酸质量分数为 0.20%，壳聚糖质量分数为 0.90%，通过 3 次平行验证实验得出了其感官评价影响分别为 91.52%，89.45%，90.16%，均高于其他组合，说明了鲜切天麻复合保鲜剂优化结果的有效性。

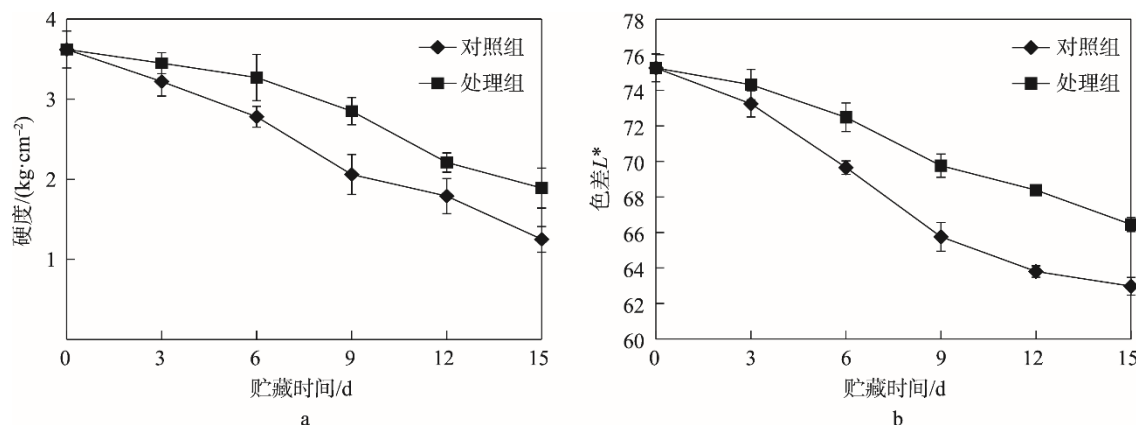
2.3 鲜切天麻最佳复合保鲜剂保鲜效果的研究

2.3.1 最佳复合保鲜剂对鲜切天麻硬度和色差的影响

硬度值的变化能直接反映鲜切天麻的软化程度，色差 L*值可以直观反映鲜切天麻的褐变程度，均能衡量鲜切天麻的新鲜程度。由图 1a 表明，刚鲜切的天麻硬度为 3.62 kg/cm²，随着贮藏期间的延长其硬度呈

表 4 鲜切天麻复合保鲜剂的正交实验结果及分析
Tab.4 Orthogonal experiment results and analysis of fresh-cut *gastrodia elata* compound preservatives

实验编号	A	B	C	D	感官评价
1	1	1	1	1	75.32
2	1	2	2	2	86.78
3	1	3	3	3	80.58
4	2	1	2	3	88.65
5	2	2	3	1	82.65
6	2	3	1	2	83.42
7	3	1	3	2	78.39
8	3	2	1	3	79.64
9	3	3	2	1	76.86
k ₁	80.89	80.79	79.46	78.28	
k ₂	84.91	83.02	84.10	82.86	
k ₃	78.30	80.29	80.54	82.96	
R	6.61	2.74	4.64	4.68	
主次因素	A > D > C > B				
最优组合	A2	B2	C2	D3	

图1 复合保鲜剂对鲜切天麻硬度和色差 L^* 值的影响Fig.1 Effects of compound preservatives on hardness and chromatic aberration L^* value of fresh-cut *Gastrodia elata*

现下降趋势,并且贮藏期间实验组鲜切天麻的硬度高于对照组。在贮藏 15 d 时,对照组和实验组的天麻硬度分别为 1.25, 1.89 kg/cm², 并且两处理组间有显著差异 ($P < 0.05$)。由图 1b 表明,刚鲜切的天麻色差 L^* 值为 75.26,在贮藏前 3 d,两处理间无显著差异 ($P > 0.05$),从贮藏期 6 d 开始至贮藏期 15 d,对照组的色差 L^* 值显著低于实验组 ($P < 0.05$),在贮藏期 15 d 时,对照组和实验组的色差 L^* 值分别为 62.97, 66.45。由此可见,复合保鲜剂能够更好地抑制鲜切天麻硬度和色差 L^* 值的下降。

2.3.2 最佳复合保鲜剂对鲜切天麻天麻素含量和多糖含量的影响

天麻素和天麻多糖均是评价天麻质量好坏的重要指标,具有调节机体免疫力、抗衰老、降血压等多种功能^[13]。由图 2a 可知,刚鲜切天麻的天麻素含量为 642.76 $\mu\text{g/g}$,天麻素呈现下降的趋势,在贮藏期前 3 d,两处理无显著差异 ($P > 0.05$)。从贮藏期 6 d 开始至贮藏期 15 d,对照组的的天麻素含量均小于实验组,贮藏期 15 d 时,对照组天麻素含量比处理组低 3.93 $\mu\text{g/g}$ 。由图 2b 表明,天麻多糖含量和天麻素含量变化相似,刚鲜切天麻的多糖含量为 262.17 mg/g,

从贮藏期 9 d 开始至贮藏期 15 d,对照组的的天麻多糖含量显著低于实验组 ($P < 0.05$),贮藏期 15 d 时,对照组和实验组的的天麻多糖含量分别为 243.46, 251.75 mg/g。由此可见,复合保鲜剂能够更好地保持鲜切天麻的天麻素和天麻多糖含量。

2.3.3 最佳复合保鲜剂对鲜切天麻 PPO 活性和 POD 活性的影响

鲜切天麻的贮藏品质与其相关酶活性变化密不可分。多酚氧化酶 (PPO) 是能够催化酚类物质形成醌,醌类物质聚合导致褐变^[14]。过氧化物酶 (POD) 是衡量系统清除自由基能力的重要指标^[15]。由图 3a 可知,鲜切天麻的 PPO 活性呈现先上升后下降的趋势,在贮藏期前 3 d,对照组和实验组无显著差异 ($P > 0.05$),从贮藏 6 d 开始至贮藏 15 d,对照组 PPO 显著高于实验组 ($P < 0.05$),贮藏 15 d 时,对照组和实验组的鲜天麻 PPO 活性分别为 9.54, 8.72 U/g。图 3b 表明,鲜切天麻的 POD 活性和 PPO 活性变化趋势相似,均在贮藏期 9 d 时达到峰值。在贮藏 15 d 时,实验组 POD 活性显著高于处理组 ($P < 0.05$)。由此可见,复合保鲜剂对鲜切天麻的多酚氧化酶活性和过氧化物酶均具有明显的抑制作用,保持了更好的鲜天麻酶活性。

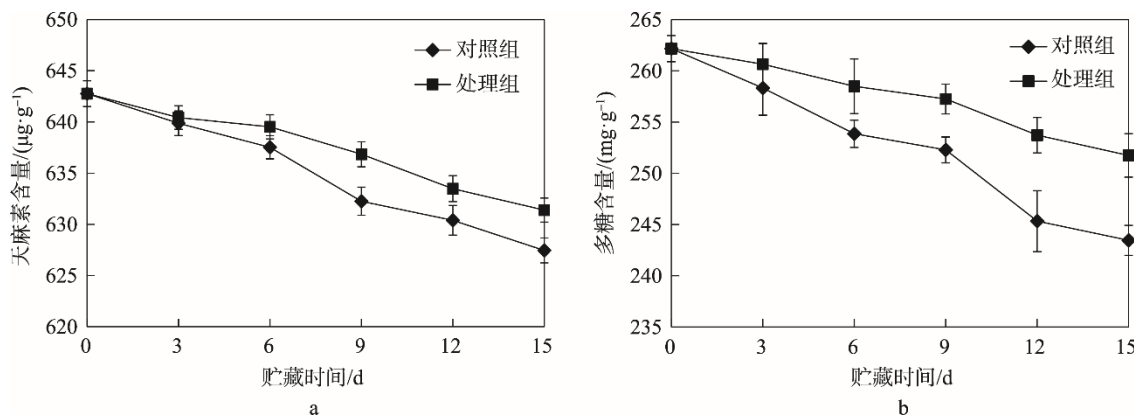


图2 复合保鲜剂对鲜切天麻天麻素和多糖含量的影响

Fig.2 Effects of compound preservatives on gastrodin and polysaccharide content of fresh-cut *Gastrodia elata*

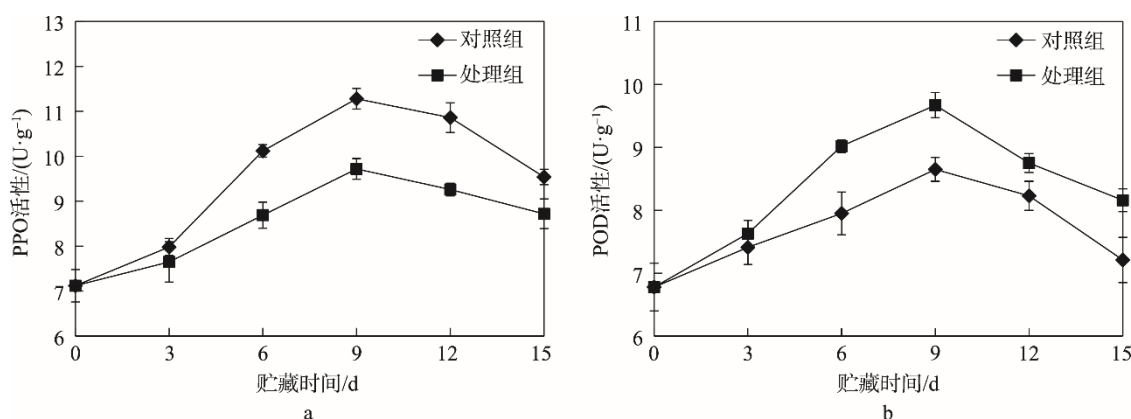


图3 复合保鲜剂对鲜切天麻 PPO 和 POD 活性的影响

Fig.3 Effects of compound preservatives on PPO and POD activities of fresh-cut *Gastrodia elata*

3 结语

为了确定复合保鲜剂对鲜切天麻的有效性,通过在前期的单因素实验基础上,并结合感官评价进行正交实验。文中结果表明,采用质量分数为 1.25%的茶多酚+质量分数为 0.50%的柠檬酸+质量分数为 0.20%的抗坏血酸+质量分数为 0.90%的壳聚糖的复合保鲜剂对鲜切天麻保鲜效果最佳,经此复合保鲜剂处理与对照组比较,能够更好地延缓鲜切天麻硬度和色差 L^* 值的变化,抑制鲜切天麻的天麻素和多糖含量的下降,保持更好的 PPO 和 POD 活性,从而推迟鲜切天麻的衰老和褐变进程,抑制鲜切天麻贮藏品质的下降,维持鲜切天麻更好的感官品质和商品价值。由于复合保鲜剂具有高效安全、成本低、操作简单等优点,所以采用复合保鲜剂来保鲜鲜切天麻具有巨大的潜力,值得应用推广。

参考文献:

- [1] 郝小燕, 谭宁华. 黔产天麻的化学成分[J]. 植物分类与资源学报, 2000, 22(1): 81—84.
HAO Xiao-yan, TAN Ning-hua. Constituents of *Gastrodia Elata* in Guizhou[J]. Acta Botanica Yunnanica, 2000, 22(1): 81—84.
- [2] 王莉, 肖红斌, 梁鑫森. 天麻化学成分研究(I)[J]. 中草药, 2006, 40(11): 1635—1637.
WANG Li, XIAO Hong-bin, LIANG Xin-miao. Chemical Constituents of *Gastrodia Elata*(I)[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 40(11): 1635—1637.
- [3] LEE O H, KIM K I, HAN C K, et al. Effects of Acidic Polysaccharides from *Gastrodia* Rhizome on Systolic Blood Pressure and Serum Lipid Concentrations in Spontaneously Hypertensive Rats Fed a High-Fat Diet [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(1): 698—709.
- [4] LIU W, SUB L, WANG Z S, et al. Gastrodin Improved Baroreflex Sensitivity and Increased Gamma-amino Butyric Acid Content in Brains without Decreasing Blood Pressure in Spontaneously Hypertensive rats[J]. Cns Neuroscience & Therapeutics, 2012, 18(10): 873—875.
- [5] 曹森, 雷霖卿, 吉宁, 等. 鲜天麻采后生理品质变化规律及病原菌鉴定的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 285—293.
CAO Sen, LEI Ji-qing, JI ning, et al. Study on the Physiological Quality Changes and Identification of Pathogen Pathogenicity of *Gastrodia Elata* after Harvest[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 285—293.
- [6] 陶永元, 舒康云, 吴加美, 等. 茶多酚与壳聚糖复配对草莓保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2012(5): 224—230.
TAO Yong-yuan, SHU Kang-yun, WU Jia-mei, et al. Study on The Strawberry Preservation Effects of Tea Polyphenol and Chitosan Mixture[J]. China Food Additives, 2012(5): 224—230.
- [7] 李素清, 陈真华, 丁捷, 等. 鲜切蒜薹复合保鲜剂的配方优化及其保鲜作用[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 326—331.
LI Su-qing, CHEN Zhen-hua, DING Jie, et al. Formula Optimization of Fresh-cut Garlic Bolts Composite Preservative and Its Preservative Effect[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 5(1): 78—79.
- [8] 杜运鹏, 杨福馨, 陈基玉, 等. 鲜切山药保鲜护色研究[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 87—91.
DU Yun-peng, YANG Fu-xin, CHEN Ji-yu, et al. Preservation and Color-Protection of Fresh-cut Yam[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 87—91.
- [9] 王梅, 徐俐, 王美芬, 等. 复合保鲜剂对鲜切山药保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 134—140.
WANG Mei, XU Li, WANG Mei-fen, et al. Effect of Compound Preservative on Fresh-keeping of Fresh-cut Yam[J]. Food & Machinery, 2017, 33(5): 134—140.

- [10] 闫宝庆, 张晖芬, 逢楠楠, 等. RP-HPLC 同时测定天麻中 4 种成分的含量[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(22): 2903—2906.
YAN Bao-qing, ZHANG Hui-fen, FENG Nan-nan, et al. Simultaneous Determination of Four Components in *Gastrodia Elata* by RP-HPLC[J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2009, 34(22): 2903—2906.
- [11] 王文平, 郭祀远, 李琳, 等. 苯酚-硫酸法测定野木瓜中多糖含量的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 276—279.
WANG Wen-ping, GUO Si-yuan, LI Lin, et al. Assay Study on Content of Polysaccharides in *Stanuntonia Chinensis* by Phenol-sulfuric Acid Method[J]. Food Science, 2007, 28(4): 276—279.
- [12] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 33—150.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruit and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013: 33—150.
- [13] 邓士贤, 莫云强. 天麻的药理研究(一)天麻素及天麻甙元的镇静及抗惊厥作用[J]. 植物分类与资源学报, 1979, 1(2): 68—75.
DENG Shi-xian, MO Yun-qiang. Pharmacological Studies on *Gastrodia Elata* (I) Sedative and Anticonvulsant Effects of Gastrodin and Gastrodin[J]. Journal of Plant Taxonomy and Resources, 1979, 1(2): 68—75.
- [14] 刘芳, 赵金红, 朱明慧, 等. 多酚氧化酶结构及褐变机理研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(6): 113—119.
LIU Fang, ZHAO Jin-hong, ZHU Ming-hui, et al. Advances in Research of the Structure and Browning Mechanism of Polyphenol Oxidase[J]. Food Research and Development, 2015, 36(6): 113—119.
- [15] 谭谊谈, 曾凯芳. 鲜切果蔬酶促褐变关键酶研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 376—379.
TAN Yi-tan, ZENG Kai-fang. Research Progress in Key Enzymes for Enzymatic Browning of Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2011, 32(17): 376—379.